
EVALUACIÓN DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS DESDE LA PERSPECTIVA DE DIVERSAS FUENTES ANALÍTICAS EN UN SECTOR DEL MUNICIPIO ZAMORA, ESTADO ARAGUA, VENEZUELA

Angel R. Valera^{1,2*}, Pedro A. Rios², Bestalia Y. Flores²

¹ Universidad Rómulo Gallegos, Centro de Investigación y Extensión en Suelos y Aguas (CIESA-UNERG), San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela, e-mail: angelvalera@unerg.edu.ve

² Universidad Rómulo Gallegos, Área de Ingeniería Agronómica, San Juan de los Morros, Estado Guárico, Venezuela, e-mail: bestalia.flores@gmail.com

* Autor de correspondencia

Recibido: 20 - 01 - 2024; **Aceptado:** 15 - 04 - 2024; **Publicado:** 28 - 06 - 2024

RESUMEN

Se realizó una evaluación comparativa basada en resultados de análisis de suelos con fines de fertilidad de muestras de suelo compuestas, obtenidas de diversos lotes de las parcelas denominadas VEN, FJM y STV, ubicadas en el sector La Molinera, parroquia San Francisco de Asís, municipio Zamora, en el estado Aragua, Venezuela. El diagnóstico de fertilidad de suelos incluye las evaluaciones realizadas en distintos Laboratorios de servicio de análisis de suelos, aguas, fertilizantes y foliares, con énfasis en los años 2021 y 2023. Los resultados circunscriben el diagnóstico derivado de tres fuentes distintas que incluyen: 1) Laboratorio de suelos de Edafofinca C.A., 2) Laboratorio Químicos DS&MC Import C.A., y 3) Laboratorio General de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela. El objetivo principal fue realizar una evaluación comparativa de los resultados de análisis de suelos con fines de fertilidad en dos periodos distintos, basado en determinaciones analíticas derivadas de tres fuentes analíticas. Para ello, se hicieron comparaciones de resultados, interpretaciones de datos, interpretación y categorización de resultados, consideración de métodos utilizados en las determinaciones analíticas y recomendaciones de fertilizantes y enmiendas para cultivos de interés en la zona de estudio. Se constató que cada uno de los Laboratorios emplea metodologías que coinciden en algunos aspectos, pero que se diferencian en el uso de soluciones extractantes, lo que parece incidir en las interpretaciones realizadas sobre los niveles de nutriente en los suelos estudiados.

Palabras clave: Fertilidad del Suelo, Diagnóstico, Análisis de Suelo, nutrientes

EVALUATION OF SOIL FERTILITY FROM THE PERSPECTIVE OF DIFFERENT ANALYTICAL SOURCES IN A SECTOR OF THE MUNICIPALITY OF ZAMORA, ARAGUA STATE, VENEZUELA.

ABSTRACT

A comparative evaluation was carried out based on the results of soil analysis for fertility purposes of composite soil samples obtained from different plots of the plots called VEN, FJM and STV, located in the

La Molinera sector, San Francisco de Asís parish, Zamora municipality, Aragua state, Venezuela. The soil fertility diagnosis includes evaluations carried out in different soil, water, fertilizer and foliar analysis service laboratories, with emphasis on the years 2021 and 2023. The results circumscribe the diagnosis derived from three different sources including: 1) Soil Laboratory of Edafofinca C.A., 2) Chemical Laboratory DS&MC Import C.A., and 3) General Soil Laboratory of the Faculty of Agronomy of the Central University of Venezuela. The main objective was to carry out a comparative evaluation of soil analysis results for fertility purposes in two different periods, based on analytical determinations derived from three analytical sources. To this end, comparisons of results, interpretations of data, interpretation and categorization of results, consideration of methods used in the analytical determinations and recommendations of fertilizers and amendments for crops of interest in the study area were made. It was found that each of the laboratories used methodologies that coincide in some aspects, but differ in the use of extractant solutions, which seems to influence the interpretations made on the nutrient levels in the soils studied.

Keywords: Soil Fertility, Diagnostics, Soil Analysis, nutrients.

INTRODUCCIÓN

La fertilidad del suelo es una importante cualidad que resulta de la interacción entre las características físicas, químicas, biológicas y bioquímicas del medio edáfico, la cual consiste en la capacidad de suministrar todas las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Srinivasan *et al.*, 2022). Los análisis de suelos con fines de fertilidad constituyen un aspecto de suma importancia como base para la toma de decisiones en cuanto al manejo del estatus de nutrientes en el suelo. Este factor debe ir de la mano con el manejo de otros factores relacionados con otras características del terreno, el tipo de cultivo, el clima, y el control de malezas, plagas y enfermedades.

En referencia a la fertilidad de los suelos, los resultados de interés incluyen la reacción del suelo (pH), la conductividad eléctrica (sales solubles), contenido de materia orgánica, fósforo disponible y potasio asimilable, calcio y magnesio disponible, análisis granulométrico (%arcilla, %limo y %arena), y micronutrientes (cobre, zinc, hierro y manganeso). Un aspecto fundamental en las evaluaciones de la fertilidad del suelo son los cationes intercambiables y la saturación de cada una de las bases en el complejo de cambio, al igual que la capacidad de intercambio catiónico, y las relaciones entre los cationes cambiables. Estos aspectos dan una idea bastante clara sobre el estado actual de la fertilidad de los suelos, como base para la aplicación del plan de abonamiento más apropiado, dependiendo del cultivo a establecer.

Otro aspecto de gran importancia para el manejo de los suelos y su comportamiento a través de los diversos ciclos de cultivo, es el seguimiento de los valores de los atributos químicos y físicos considerados en los análisis de suelo con fines de fertilidad. Esos factores deben estar acompañados de las observaciones de campo y del comportamiento de los cultivos desarrollados en el terreno, conjuntamente con los factores de clima, uso del riego y manejo de variables dependientes, como el rendimiento de los cultivos. Además, hay que valorar la capacidad de las instancias analíticas en cuanto a los tipos de determinaciones, métodos de extracción e instrumentos de medición, a fin de validar los resultados analíticos obtenidos con la realidad de campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Los lotes de suelo estudiados corresponden a un sector de La Molinera, en la Población de San Francisco de Asís, jurisdicción del Municipio Ezequiel Zamora del Estado Aragua (Coordenadas: 10°4'47" Norte y 67°33'17" Oeste).

Desde el punto de vista geológico, los lotes diagnosticados pertenecen a una zona aluvial, la cual incluye áreas rellenadas por sedimentos derivados principalmente de filitas carbonáceas y limolitas o esquistos muscovíticos, cloríticos o conglomeráticos derivados de la formación Complejo Tinaco - Tucutunemo (MEM, 2021). Desde el punto de vista geomorfológico, los lotes se ubican en un medio deposicional de valle en forma de complejo coluvio-aluvial, con variaciones en cuanto al tipo de drenaje, pero sin riesgo de inundación. Con base en las posiciones geomorfológicas, los lotes se encuentran a una altitud comprendida entre 452 y 458 msnm, y el relieve es predominantemente plano, con pendiente menor al 5%, pero no existen problemas por inundación (Viloria *et al.*, 1998).

Laboratorios de Análisis de Suelo

Los resultados de análisis de suelo se derivan de los tres laboratorios de servicio con fines de fertilidad. Para el manejo de la información se emplearon códigos convencionales que identifican a cada laboratorio, de la siguiente manera: 1) Lab1-Cagua: Laboratorio de suelos de Edafofinca C.A., 2) Lab2-Maracay: Laboratorio Químicos DS&MC Import C.A., y 3) Lab3-El Limón: Laboratorio General de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela.

Cada lote representa una superficie cercana a 1 hectárea y cada muestra compuesta está conformada por la cantidad promedio de 12 a 15 muestras simples, tomadas hasta 25 cm de profundidad. Se analizaron las siguientes variables de suelo: pH en agua, conductividad eléctrica en agua (CE, dSm^{-1}), materia orgánica (MO, %), fósforo disponible (P, mgkg^{-1}), potasio asimilable (K, $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$), calcio (Ca, $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$) y magnesio disponible (Mg, $\text{cmol}(+)\text{kg}^{-1}$), las cantidades relativas de arena, limo y arcilla (%), y los elementos menores zinc, hierro, cobre y manganeso (mgkg^{-1}).

Evaluación de Determinaciones Analíticas

Para la evaluación de los aspectos relacionados con los resultados físicos, químicos, y los niveles de nutrientes en los suelos muestreados, se detallaron los resultados y sus calificaciones o categorías, de acuerdo con los métodos de cada uno de los Laboratorios encargados de las determinaciones analíticas. Para tal fin se utilizaron las tablas de interpretación empleadas por cada uno de los Laboratorios en consideración.

Análisis Comparativo de Resultados

El análisis comparativo se realizó tomando en cuenta los valores promedios y las categorías de cada nivel de interpretación. Muestras con valores similares o con igual categoría se consideran que forman parte de la misma clase, y las recomendaciones desde el punto de vista de fertilidad también son similares para el mismo cultivo.

También se hicieron comparaciones entre las relaciones suelo/agua y suelo/solución extractora empleadas por cada uno de los Laboratorios, con base en la información obtenida de los informes de análisis de suelo. Finalmente, se realizaron transformaciones de algunas unidades químicas para facilitar los procesos de evaluación y comparación de resultados.

Balance de Nutrientes en los Suelos

Se realizaron balances iónicos considerando los resultados de los cationes intercambiables, con la finalidad de evaluar el balance o desbalance de las bases cambiables. Esto permitió inferir sobre la disponibilidad de un elemento esencial con respecto a otro.

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente, utilizando el programa Infostat (Di Rienzo *et al*, 2019), mediante pruebas de medias y análisis de varianza de algunas variables de suelos de lotes con datos secuenciales entre los años 2021 y 2023. Se evaluaron las recomendaciones realizadas por algunos de los laboratorios analíticos, con la finalidad de cubrir la demanda del cultivo, y sobre la aplicación de enmiendas inorgánicas para la corrección de algún desbalance. Además, se realizó un análisis crítico acerca de los resultados, en las determinaciones realizadas y en los métodos de análisis de laboratorio empleados en las extracciones de elementos nutrientes, y los soportes bibliográficos de mayor utilidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de Determinaciones Analíticas

Los análisis realizados en los lotes de terreno agrícolas **VEN, FJM y STV**, muestran que los suelos son básicamente de granulometrías de texturas medias con dominancia de clases francas (F) a franco-arcillosas (FA) en el 86% de las muestras en conjunto (Cuadro 1), con pocas variaciones hacia las texturas gruesas o finas. En cuanto al contenido de materia orgánica de los suelos, los niveles varían entre bajos y medios, según lo reportado por los tres (3) laboratorios en consideración.

En general, ninguno de los suelos evaluados presenta problemas de salinidad, ya que los valores de conductividad eléctrica de los suelos son bajos (CE menor que 1 dS/m o mS/cm); sin embargo, el Laboratorio 2 presenta los resultados en unidades de conductividad de dS/cm, con valores superiores a 1 dS/cm. Al respecto, se sugiere una revisión de dichos valores ya que en términos de equivalencia se tiene que 1 dS/cm = 100 dS/m, por lo que los valores de 1,2 y 1,4 dS/cm representarían resultados de 120 y 140 dS/m, los cuales son valores exorbitantes no comunes en suelos agrícolas, por lo que puede ser un ligero error de calibración, o de transcripción del informe de análisis de suelo. Si se considera que los valores presentados por Lab2 están entre valores de 1,2 y

1,4 dS/m, se estaría frente a posibles problemas de salinidad de suelos que amerita una evaluación de sales en el extracto de saturación.

Cuadro 1. Resultado parcial de los análisis de suelo en los lotes de producción analizados.

LAB	Lote	NUM	Clase	pH H ₂ O	NIVEL	CE (dS/m)	P (mgkg ⁻¹)	Nivel	K (mgkg ⁻¹)	Nivel
1 (02/2021)	VEN	1	F	6,80	Neutro	0,45	55	A	240	MA
	VEN	2	F/Fa	6,25	Lig. Ácido	0,40	32	A	95	A
	VEN	3	F	6,60	Neutro	0,34	45	A	150	MA
	FJM	1	A	7,50	Lig. Alcalino	0,22	23	M	265	MA
	FJM	2	FA	7,50	Lig. Alcalino	0,23	25	M	275	MA
2 (02/2023)	FJM	1	FA	6,01	Lig. Ácido	1,20*	36	A	155	A
	FJM	2	FA	6,01	Lig. Ácido	1,20*	38	A	142	A
	FJM	3	FA	6,09	Lig. Ácido	1,40*	36	A	152	A
	FJM	4	FA	6,09	Lig. Ácido	1,40*	39	A	149	A
3 (07/2023)	FJM	1	FA	7,40	Lig. Alcalino	0,38	78	MA	406	M
	FJM	2	FA	7,06	Neutro	0,45	83	MA	106	M
	FJM	3	FA	7,26	Lig. Alcalino	0,38	80	MA	326	M
	STV	1	F	6,90	Neutro	0,78	117	MA	334	MA
	STV	2	F	7,23	Lig. Alcalino	1,09	92	MA	321	MA

Laboratorios Lab1: Edafofinca, Lab2: Químicos DS&M.C, Lab3: UCV; **Clase:** Clase Textural del suelo, **F:** Franco, **Fa:** Franco-arenoso, **FA:** Franco-Arcilloso; **Lig:** Ligeramente, **M:** Medio, **A:** Alto, **MA:** Muy Alto.

*Conductividad eléctrica en agua (dS/cm)

De esta manera hay que evaluar la incidencia y predominancia de alguna sal y sus combinaciones, y el posible impacto en los suelos y en los cultivos que no tengan cierto grado de tolerancia a la salinidad. Para tal fin, también habría que evaluar la calidad del agua con fines de riego, si eso ha sido el caso.

También hay que tener presente que un exceso de sodio produce deficiencias de calcio y de magnesio, y cuando el sodio está en una proporción mayor al 10% de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) pueden existir problemas de salinidad de tipo sódico (Bernier y Bortolameolli, 2000). En este sentido, es recomendable solicitar este tipo de análisis de suelo para la toma de decisiones en cuanto al manejo de los suelos. Pareciera que los resultados de **Lab2** presentan cierto grado de sobrestimación en los resultados del mes de febrero 2023, ya que **Lab3** presentó resultados coherentes recientemente (julio, 2023), sin evidencia de problemas de salinidad en los suelos analizados.

El pH de los suelos analizados oscila entre ligeramente ácido y ligeramente alcalino en todos los lotes analizados en 2021 y 2023 (Figura 1). Para el caso de los suelos de los lotes de FJM, es importante destacar las diferencias que existen en el grupo de suelos del 2021 y el de 2023, por lo que se debe mencionar que en Lab1 (Edafofinca) la relación

suelo/agua es 1:2, y en Lab3 (UCV) la relación suelo/agua es 1:1, lo que puede explicar la ligera disimilitud entre los valores. Sin embargo, Lab2 (DS&M.C) no indica en el informe de resultados la relación suelo/agua considerada en la evaluación de la reacción del suelo, pero los lotes presentan unidades de pH ligeramente ácidos, lo que posiblemente tenga que ver con el efecto de dilución que ocurre dependiendo de la cantidad de agua utilizada para preparar la suspensión.

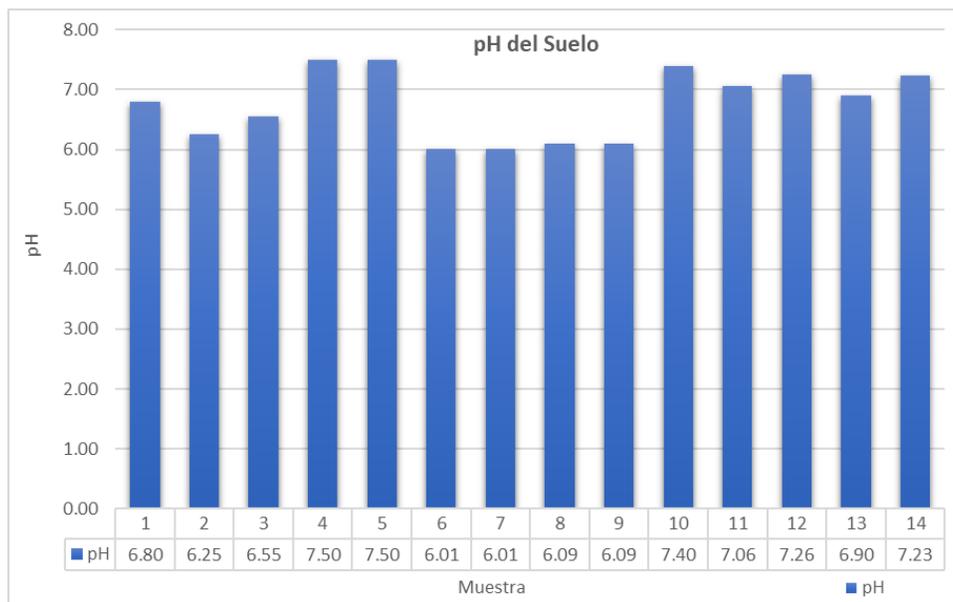


Figura 1. Variación del pH de los suelos de diferentes lotes de producción.

Con relación a los elementos mayores, tales como Fósforo soluble (**P**) y Potasio asimilable (**K**), la tendencia indica una disponibilidad apropiada para los suelos en su conjunto (Figura 2). Para el ciclo 2021 los suelos FJM tuvieron niveles medios o moderados de P y altos niveles de Potasio (**Lab1**). Si se siguieron las recomendaciones de los planes de fertilización para el cultivo establecido, pareciera existir un efecto residual de ambos elementos con variaciones hacia niveles actuales son altos o muy altos, según **Lab2** y **Lab3**. Esta situación con elementos primarios disponibles amerita solamente la aplicación de dosis de mantenimiento para contar con una suplencia en el ciclo de cultivos cereales, pero con mayores cantidades para el caso de cultivos de mayor exigencia, como las hortalizas.

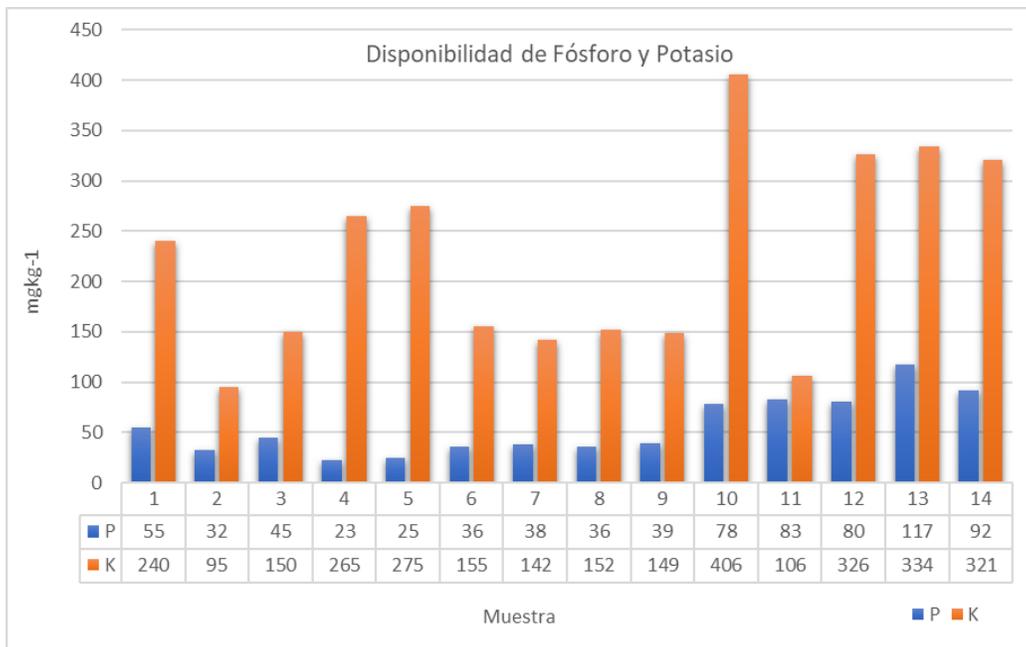


Figura 2. Variación de la disponibilidad de fósforo y potasio de los suelos.

La disponibilidad de macroelementos secundarios como Calcio y Magnesio se encuentra en cantidades variable en los suelos, con niveles medios en VEN y altos en FJM y STV. Esta situación se encuentra en cierto grado correlacionada en forma directamente proporcional con la reacción del suelo (pH). Sin embargo, hay que destacar que los suelos del lote FJM se analizaron en tres (3) Laboratorios distintos donde se aplican métodos de extracción con soluciones de diferente capacidad, tales son los casos de Lab1 cuya extracción de Ca y Mg se hace con solución neutra de Acetato de Amonio (NH₄Ac) y reporta elementos cambiables, y el Lab2 donde la extracción se realiza con solución Mehlich 1 (HCl 0,05 N, H₂SO₄ 0,025 N) (también denominada solución extractora universal Carolina del Norte o doble ácido) que facilita la solubilidad de un nutriente contenido en el suelo, pero que no ha sido efectiva en suelos alcalinos. La ventaja que presenta esta última solución mencionada es que, en un único proceso de extracción, se puede determinar todos, o la mayoría de los nutrientes necesarios para evaluar el estado de fertilidad de un suelo

En general, de acuerdo con los resultados de la extracción de calcio y magnesio, se puede mencionar que la solución NH₄Ac podría estar extrayendo las fracciones intercambiables de Ca⁺² y Mg⁺²; mientras que la solución Mehlich 1 extrae la totalidad de los cationes. Es decir, esta última al ser ácida puede disolver calcio y magnesio intercambiable y, además, carbonatos libres (Doll y Lucas, 1973), aunque bajo pH 7,0 no hay carbonato de calcio; mientras que una solución neutra como acetato de amonio sólo extrae la fracción intercambiable (Lanyon y Heald, 1982).

Algunos investigadores no recomiendan el uso de Mehlich para determinar Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en suelos calcáreos y de

micronutrientes en cualquier tipo de suelo, debido a la falta de correlación. La ausencia de correlación y calibración en el ámbito regional de un método determinado le resta valor para su uso como herramienta de diagnóstico de la fertilidad del suelo (Intagri, 2023).

En cuanto a la disponibilidad de elementos menores o microelementos, tales como Zinc (Zn^{2+}), Cobre (Cu^{2+}), Hierro (Fe^{2+}) y Manganeseo (Mn^{2+}) disponibles, los suelos presentan niveles muy bajo a bajos, con excepción de los lotes VEN (Cuadro 2). Estos contenidos de elementos menores en los suelos mantienen cierta relación con la reacción de los mismos (pH) y las concentraciones de **Calcio** y **Magnesio** disponibles, cuyos altos contenidos intervienen en la disponibilidad de los micronutrientes.

Estas aseveraciones son confirmadas por las evaluaciones realizadas al material vegetal realizado por Lab3 (UCV) para el cultivo de pimentón. En los resultados analíticos se pudo evidenciar la apropiada absorción de calcio (3,19%) y magnesio (0,98%) (niveles altos), en contraste con la absorción de potasio (3,25%) y los elementos menores zinc ($16,17 \text{ mgkg}^{-1}$), hierro ($53,16 \text{ mgkg}^{-1}$), cobre ($3,91 \text{ mgkg}^{-1}$) y manganeseo ($50,03 \text{ mgkg}^{-1}$), los cuales presentan niveles bajos. Estos últimos fueron extraídos con una mezcla de ácido nítrico-clorhídrico, y determinados por espectrofotometría de absorción atómica.

Cuadro 2. Resultado de la disponibilidad de microelementos en los distintos lotes de producción analizados.

LAB	Lote	NUM	Cu^{2+}	Nivel	Zn^{2+}	Nivel	Fe^{2+}	Nivel	Mn^{2+}	Nivel
1 (02/2021)	VEN	1	0,80	B	15,8	A	38,5	M	49,5	M
	VEN	2	0,80	B	12,6	A	27,0	M	48,0	M
	VEN	3	1,00	B	16,0	A	41,5	M	50,0	M
	FJM	1	0,10	B	0,10	B	0,10	B	0,80	B
	FJM	2	0,10	B	0,30	B	0,10	B	2,20	B
2 (02/2023)	FJM	1	7	(*)	22	(*)	95	(*)	70	(*)
	FJM	2	6	(*)	22	(*)	95	(*)	72	(*)
	FJM	3	6	(*)	23	(*)	92	(*)	72	(*)
	FJM	4	7	(*)	25	(*)	90	(*)	75	(*)
3 (07/2023)	FJM	1	0,08	B	0,32	B	4,56	B	0,56	B
	FJM	2	0,08	B	0,31	B	4,55	B	0,58	B
	FJM	3	0,07	B	0,33	B	4,61	B	0,55	B
	STV	1	0,04	B	0,24	B	3,68	B	0,51	B
	STV	2	0,04	B	0,26	B	3,71	B	0,52	B

Laboratorios Lab1: Edafofinca, Lab2: Químicos DS&M.C, Lab3: UCV.

Valores expresados en mgkg^{-1} (ppm). B: Bajo M: Medio, A: Alto. (*) Basado en patrones (valores de referencia).

Balance de Nutrientes en los Suelos

El balance de elementos nutrientes se realizó tomando en cuenta las relaciones entre Calcio, Magnesio y Potasio, cuyas proporciones son capaces de crear deficiencia de algunos nutrientes respecto a otros. Estos resultados se presentan en el Cuadro 3, y están representados también en las Figuras 3 y 4.

Cuadro 3. Relaciones iónicas de los suelos de los lotes analizados

LAB	Lote	Muestra	(Ca/Mg)	(Mg/K)	(Ca/K)	[(Ca+Mg)/K]
1 (2021)	VEN	1	6.5	1.9	13	14
	VEN	2	5.6	4.6	26	30
	VEN	3	5.4	3.2	17	20
	FJM	4 (1)	10.6	4.8	51	56
	FJM	5 (2)	11.3	4.0	46	50
2 (02/2023)	FJM	6 (1)	3.2	12.6	40	53
	FJM	7 (2)	4.3	11.0	47	58
	FJM	8 (3)	4.8	10.3	49	59
	FJM	9 (4)	4.3	10.5	44	55
3 (07/2023)	FJM	10 (1)	20.7	2.1	43	45
	FJM	11 (2)	20.1	8.1	163	171
	FJM	12 (3)	22.1	2.4	53	55
	STV	13 (1)	18.9	2.3	44	47
	STV	14 (2)	18.8	2.5	46	49

Laboratorios **1**: Edafofinca, **2**: Químicos DS&M.C, **3**: UCV; **F**: Franco, **Fa**: Franco-arenoso, **FA**: Franco-Arcilloso; **Lig**: Ligeramente, **M**: Medio, **A**: Alto, **MA**: Muy Alto. (m): Identificación del lote en el informe

Las relaciones **Ca/Mg**, indican un desbalance de nutrientes en todos los suelos muestreados y analizados el año 2021 en los lotes VEN y FJM, lo que sugirió algunas recomendaciones por Lab1 (Edafofinca) para evitar la deficiencia de magnesio disponible en los suelos. El plan de enmiendas mejoró las relaciones ya que Lab2 (DS&M.C) presentó resultados adecuados de la relación Ca/Mg en febrero del año 2023; sin embargo, en julio del 2023 los resultados de Lab3 (UCV) reflejaron una relación Ca/Mg bastante elevada lo que indicó altos valores de calcio intercambiable, puede generar fundamentalmente deficiencias **de Mg** en los cultivos. Un exceso de calcio es perjudicial ya que puede ser responsable de deficiencias de microelementos como boro, manganeso, zinc, magnesio y, también de cobre.

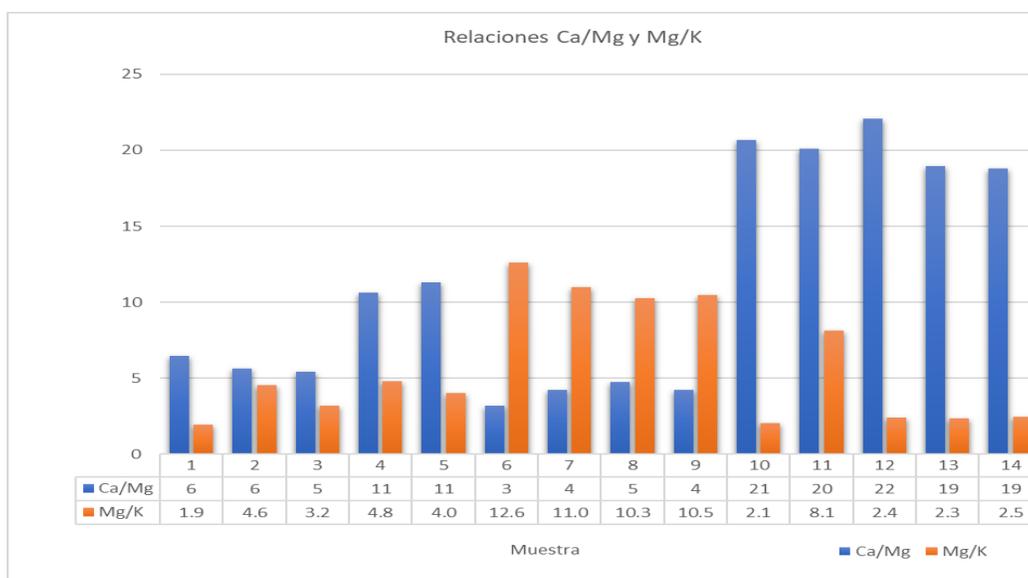


Figura 3. Variación de las relaciones Ca/Mg y Mg/K de los suelos analizados.

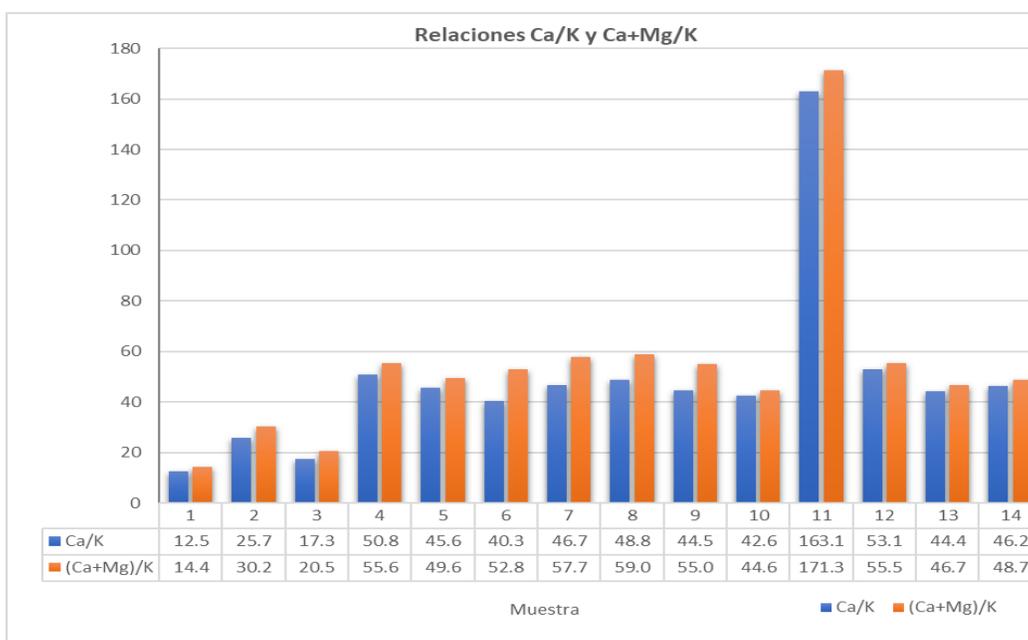


Figura 4. Variación de las relaciones Ca/K y (Ca+Mg)/K de los suelos analizados.

El comportamiento de las relaciones **Mg/K** presenta valores adecuados en todos los suelos considerados en los lotes VEN, FJM y STV en los periodos 2021 y 2023, lo que indica que no se esperarían una deficiencia de potasio, pero tampoco de magnesio. En cuanto a las relaciones **Ca/K** y **(Ca+Mg)/K** de los suelos analizados, solamente los suelos de los lotes de VEN presentaron relaciones adecuadas para el año 2021; sin embargo, los otros sectores (FJM y STV) presentaron situaciones de desbalance catiónico por las altas cantidades de calcio, que reflejan una marcada deficiencia del elemento potasio. Estas relaciones muestran que la absorción del elemento **K** estaría seriamente

comprometida por el desbalance de los iones **Ca, Mg y K** de los suelos de los lotes de producción. Por estas razones el Lab1 recomendó la aplicación de ciertas cantidades de silicato de magnesio, para mejorar dichas relaciones.

Evaluación Estadística de Resultados de Análisis de Suelo

El análisis estadístico para visualizar si los resultados de los Laboratorios de suelo son iguales o reflejan la existencia de diferencias entre las medias de algunas variables, se consideró solamente las muestras de FJM, por tener la mayor representatividad en cuanto a lotes analizados. Los resultados de la prueba de medias y del análisis de varianza se presenta en el Cuadro 4, en el cual las variables pH, P, Ca/Mg y Mg/K presentan diferencias significativas entre los resultados ($p < 0,05$) o no hay homogeneidad entre los grupos; es decir, los resultados en cada grupo de suelos son distintos, lo que posiblemente se debe a las épocas de muestreo, a las aplicaciones de fertilizantes y al tipo de solución extractora empleada en los análisis que incluyen las relaciones Ca/Mg y Mg/K. La primera indica que en todos los lotes muestreados el desbalance ocasiona una marcada deficiencia de magnesio, pero la segunda no implica la existencia de algún desbalance.

En contraparte, los agrupamientos de los datos de las variable K y de las relaciones Ca/Mg y (Ca+Mg)/K no presentan diferencias significativas ($p > 0,05$) o hay homogeneidad entre los grupos; es decir, los valores promedio de los resultados presentados por los laboratorios son similares, independientemente de las soluciones empleadas en la extracción de elementos cambiables. Estos resultados parecen estar asociados, ya que las medias de los tres (3) laboratorios son bastante similares, aunque ambos resultados indican que el desbalance provoca una deficiencia de potasio en los suelos, y los contenidos de potasio sean considerados en niveles muy altos (MA).

Los gráficos de las medias de las variables de suelo resumen a grandes rasgos los valores de las medias de los datos de algunas variables del lote FJM, entre los años 2021 y 2023. Estos resultados se expresan en las Figuras 5 y 6. En la primera gráfica, los valores promedios de los pH del suelo destacan claramente las variaciones de los grupos de suelo, cuyas diferencias están marcadas por los métodos de Laboratorio, la época del muestreo y el manejo dado a los suelos entre 2021 y 2023.

Cuadro 4. Análisis de varianza de las variables de fertilidad de suelo del lote FJM

Variable			Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
pH	Inter-grupos	(Combinados)	3,802	2	1,901	176,023	,000	
		Término lineal	No ponderad	,081	1	,081	7,511	,034
			Ponderado	,000	1	,000	,045	,839
			Desviación	3,802	1	3,802	352,000	,000
	Intra-grupos		,065	6	,011			
Total		3,867	8					
P	Inter-grupos	(Combinados)	4.746,583	2	2.373,292	664,891	,000	
		Término lineal	No ponderado	3.808,133	1	3.808,133	1.066,870	,000
			Ponderado	4.261,114	1	4.261,114	1.193,775	,000
			Desviación	485,470	1	485,470	136,007	,000
	Intra-grupos		21,417	6	3,569			
Total		4.768,000	8					
K	Inter-grupos	(Combinados)	35.440,556	2	17.720,278	2,196	,192	
		Término lineal	No ponderado	104,533	1	104,533	,013	,913
			Ponderado	1.258,677	1	1.258,677	,156	,707
			Desviación	34.181,879	1	34.181,879	4,237	,085
	Intra-grupos		48.409,667	6	8.068,278			
Total		83.850,222	8					
Ca/Mg	Inter-grupos	(Combinados)	486,363	2	243,181	400,883	,000	
		Término lineal	No ponderado	119,636	1	119,636	197,219	,000
			Ponderado	180,100	1	180,100	296,893	,000
			Desviación	306,263	1	306,263	504,873	,000
	Intra-grupos		3,640	6	,607			
Total		490,002	8					
Mg/K	Inter-grupos	(Combinados)	103,409	2	51,704	11,733	,008	
		Término lineal	No ponderado	,048	1	,048	,011	,920
			Ponderado	2,522	1	2,522	,572	,478
			Desviación	100,887	1	100,887	22,894	,003
	Intra-grupos		26,440	6	4,407			
Total		129,849	8					
Ca/K	Inter-grupos	(Combinados)	3.237,066	2	1.618,533	1,083	,397	
		Término lineal	No ponderado	1.738,885	1	1.738,885	1,164	,322
			Ponderado	2.165,811	1	2.165,811	1,450	,274
			Desviación	1.071,255	1	1.071,255	,717	,430
	Intra-grupos		8.963,334	6	1.493,889			
Total		12.200,400	8					
(Ca+Mg)/K	Inter-grupos	(Combinados)	2.539,435	2	1.269,717	,769	,504	
		Término lineal	No ponderado	1.720,661	1	1.720,661	1,043	,347
			Ponderado	2.021,435	1	2.021,435	1,225	,311
			Desviación	518,000	1	518,000	,314	,596
	Intra-grupos		9.901,514	6	1.650,252			
Total		12.440,949	8					

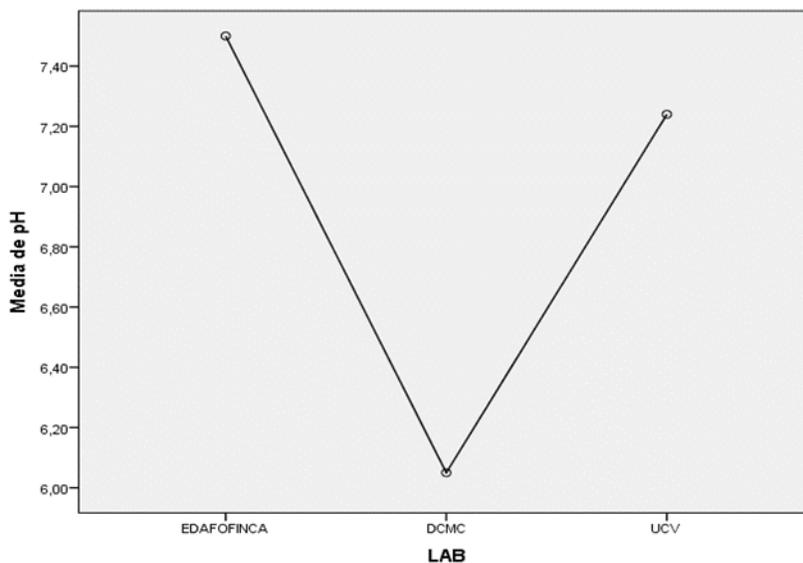


Figura 5. Valores de las medias del pH de los suelos de los lotes FJM

De igual manera los valores promedio de los niveles de fósforo y potasio reflejan contenidos medios a muy altos, posiblemente influenciados por el manejo dado de acuerdo con las recomendaciones, con ciertas discrepancias por los métodos de extracción empleados en cada uno de los laboratorios de análisis de suelo. Los valores medios del balance de cationes en cuanto a las relaciones **Ca/Mg**, indican un desbalance de nutrientes en los suelos FJM y ciertas diferencias marcadas por Lab2 con resultados adecuados de la relación Ca/Mg en febrero del año 2023. En la actualidad, por medio de Lab3 se evidencia una relación Ca/Mg bastante elevada que ocasiona deficiencias de magnesio en los cultivos.

El grafico de los valores medios de la relación **Mg/K** presenta diferencias significativas desde el punto de vista estadístico, pero agronómicamente los valores son adecuados en todos los suelos del lote FJM. En cuanto a los valores medios de **Ca/K** y **(Ca+Mg)/K** de los suelos analizados, desde el punto de vista estadístico no existen diferencias significativas entre los grupos de suelo considerados, y desde el punto de vista agronómico ambos indicadores presentan situaciones de desbalance catiónico por las altas cantidades de calcio, que puede acarrear una deficiencia del elemento potasio.

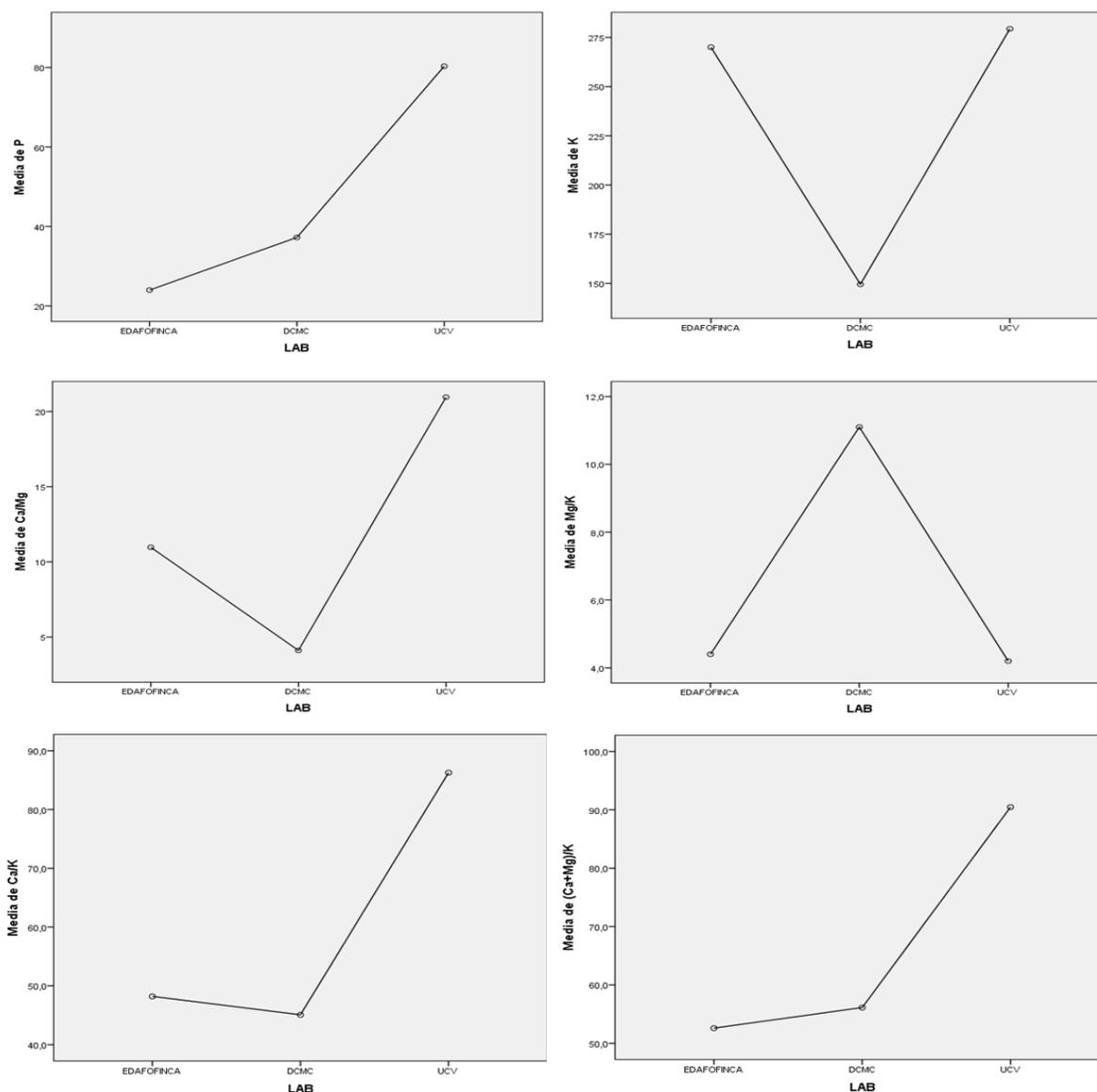


Figura 6. Valores de las medias de fósforo, potasio y relaciones iónicas de los suelos del lote FJM.

CONCLUSIONES

La evaluación de los suelos de diversos lotes de producción agrícola presentó resultados diversos, lo que posiblemente está relacionado con los métodos de extracción de los elementos nutrientes empleados por cada laboratorio de análisis de suelo con fines de fertilidad. Sin embargo, los altos rendimientos en los cultivos son el resultado de múltiples factores, aunque se inicien con un buen diagnóstico de la fertilidad del suelo.

Desde el punto de vista de fertilidad los suelos presentan clases de texturas medias, con valores aceptables en cuanto a reacción del suelo (neutro a ligeramente alcalino), medianos contenidos de materia orgánica, medio a altos contenidos de fósforo, altos

contenidos de potasio, calcio y magnesio, pero baja disponibilidad de micronutrientes. El principal problema evidenciado en la mayoría de los suelos es el desbalance de cationes y una ligera alcalinidad, lo cual conduce a algunas deficiencias de un elemento secundario como magnesio y potasio, o microelementos como cobre, zinc, hierro y manganeso.

La variabilidad de los contenidos de elementos nutrientes en los suelos evaluados es de gran importancia agronómica, ya que la baja disponibilidad de algunos elementos puede generar deficiencias en las plantas, por lo que el plan de fertilización debe considerar las enmiendas apropiadas para la corrección. Estas últimas deben realizarse sobre la base de la granulometría, la reacción del suelo y los contenidos de Calcio y Magnesio.

El uso de distintas soluciones extractoras de distintos laboratorios de análisis de suelo parecen incidir en las interpretaciones realizadas sobre los niveles de nutriente en los suelos considerados. Este aspecto interfiere en la toma de decisiones más apropiadas para solventar situaciones relacionada con el manejo de nutrientes.

Es recomendable utilizar los análisis de suelo con fines de fertilidad como guía para el seguimiento y control de los nutrientes que contiene el suelo y los que absorben las plantas, pero se deben mantener las determinaciones analíticas en un laboratorio de preferencia que utiliza soluciones calibradas en el país, para emitir juicios más acertados sobre los planes de recomendaciones y las enmiendas a aplicar antes de los procesos de siembra.

Existen métodos de aplicación universal para la determinación de cationes intercambiables en los suelos que se pueden solicitar junto a la capacidad de intercambio catiónico. Esto permite evaluar la capacidad de saturación de un catión en el complejo de cambio y tomar decisiones acerca del manejo de los suelos.

Es necesario mantener vigiladas posibles deficiencias de Calcio disponible y Potasio asimilable en las plantas, y corregir con aplicaciones foliares.

Es apropiado contar con el apoyo de un Laboratorio que realice un reporte amigable, y además que otorgue una interpretación y una recomendación de la fertilización y las enmiendas sin costo para el usuario, en el momento más apropiado.

REFERENCIAS

- Bernier, R. y Bortolameolli G.S. (2000). Diagnóstico de la fertilidad del suelo. En: Técnicas de diagnóstico de fertilidad del suelo, fertilización de praderas, cultivos y mejoramiento de praderas. Osorno, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias- Centro Regional de Investigación Remehue: 11-13.
- DI Rienzo J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M., and Robledo, C.W. 2019. InfoStat versión 2019. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.
- Doll, E. y Lucas, R. (1973). Testing soil for potassium, calcium and magnesium. *In*: Soil testing and plant analysis. Ed. by Walsh L. and Beaton J. Madison, Wisconsin, Soil Science Society

of America: 133-152.

Intagri (2023). El Análisis de Suelo: Diagnóstico, Calidad y Asertividad. En línea: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/el-analisis-de-suelo-diagnostico-calidad-y-asertividad>.

Lanyon L.E. y Heald W.R. (1982). Magnesium, Calcium, Strontium and Barium. In: Methods of soil analysis, Part 2. Ed. by Page A.L. et al. ASA-SSSA. Agronomy Monograph N°9: 159-165.

MEM. (2021). Léxico Estratigráfico de Venezuela. Tomo I y II. Ministerio de Energía y Minas (MEM). Boletín de Geología Publicación Especial N° 12. Versión digital revisada 2021. MJ. editores, C.A. Tercera Edición, 1997. Caracas, Venezuela. Disponible en <https://www.academia.edu/96551124/>

Srinivasan, R., Shashikumar, B.N. and Singh, S.K. (2022). Mapping of Soil Nutrient Variability and Delineating Site-Specific Management Zones Using Fuzzy Clustering Analysis in Eastern Coastal Region, India. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. <https://doi.org/10.1007/s12524-021-01473-9>

Viloria, J.; C. Estrada; J. Rey. (1998). SISDELAV: Sistema de Información de Suelos de la Depresión del Lago de Valencia. Universidad Central de Venezuela, Maracay (Venezuela). Facultad de Agronomía. Instituto de Edafología. *VE-UCV-FAGRO-EDAFOLOGIA. Código: Venesuelos N° 6 (1 y 2):1-2.

